

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 18 SEP 2000

WIPO

PCT

EP 00/06833

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

E J K W

**Aktenzeichen:** 199 33 130.8  
**Anmeldetag:** 19. Juli 1999  
**Anmelder/Inhaber:** Giesecke & Devrient GmbH, München/DE  
**Bezeichnung:** Operandenstapelspeicher und Verfahren zum  
Betreiben eines Operandenstapelspeichers  
**IPC:** G 06 F 12/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. Juli 2000  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

Der Präsident  
Im Auftrag

Hobinger

## Operandenstapelspeicher und Verfahren zum Betreiben eines Operanden- stapelspeichers

In einer Rechenmaschine, sei es eine Hardware-Rechenmaschine oder eine virtuelle Rechenmaschine, erfolgt die Verarbeitung von Operanden in einer zentralen Recheneinheit. Die verarbeiteten Operanden werden in einem Operandenspeicher abgespeichert, die zu verarbeitenden Operanden werden aus dem Operandenspeicher ausgelesen.

Zum Abspeichern der Operanden ist die Verwendung eines Stapelspeichers (Stack) üblich. Organisiert wird ein solcher Operandenstapelspeicher (vereinfacht: Operandenstapel) in der Weise, daß ein Speicherplatz gegebener Größe für eine bestimmte Menge von Stapелеlementen des Operandenstapels freigehalten wird, wobei in diesem Speicherbereich die Stapелеlemente konstanter Länge eingerichtet werden. Ein Stapel-Zeiger (Pointer), beispielsweise als Zähler ausgebildet, wird bei jedem Speicherzugriff erhöht oder erniedrigt.

Zum besseren Verständnis der Erfindung sei auf Fig. 5 der Zeichnung verwiesen, die schematisch einen zum Stand der Technik gehörigen Operandenstapel 100 zeigt. Der Operandenstapel 100 enthält Stapелеlemente 100a, 100b,... jeweils konstanter Länge. Diese konstante Länge,  $L_{max}$ , bestimmt sich durch den längsten zu speichernden Operanden. Im dargestellten Bei-

spiel ist in dem "untersten" Stapелеlement 100a ein Referenz-Wert gespeichert. Der zweite Operand in dem Stapелеlement 100b ist ein Byte-Wert, genauso wie der Operand in dem dritten Stapелеlement 100c. In dem vierten Stapелеlement befindet sich eine ganze Zahl, hier als Integer bezeichnet. In dem fünften und dem sechsten Stapелеlement sind als Operanden ein Short-Wert bzw. ein Byte-Wert gespeichert.

Im vorliegenden Beispiel sind die längsten vorkommenden Operanden "Referenz" im ersten Stapелеlement und "Integer" im vierten Stapелеlement.

---

Jedes Stapелеlement 100a, 100b,... belegt einen Speicherplatz der Länge  $L_{max}$ . Jedes Stapелеlement 100a, 100b,... der Länge  $L_{max}$  nimmt einen Speicherplatz ein, der in dem hier betrachteten Beispiel vier adressierbare Speicherstellen umfassen soll. Wird ein weiterer Operand auf den Operandenstapel 100 gelegt, so wird der Inhalt eines Stapel-Zeigers 101 um "4" erhöht, so daß er auf das nächste freie Stapелеlement zeigt. Nach dem Lesen eines Operanden wird der Inhalt des Stapel-Zeigers um "4" verringert.

10

Der Nachteil der Stapелеlemente einheitlicher Größe, das heißt im vorliegenden Beispiel der Stapелеlemente mit jeweils vier kleinsten adressierbaren Speicherstellen, besteht in der erheblichen Platzverschwendung bei der Abspeicherung von relativ kurzen Operanden. Im vorliegenden Beispiel sind nur die Operanden in den Stapелеlementen "1" und "4" Operanden mit der maximalen Länge  $L_{max}$ , die übrigen Operanden in den Stapелеlementen "2", "3" und "6" (Byte-Werte) sind die kürzesten Operanden und belegen nicht einmal die Hälfte des verfügbaren Speicherplatzes der Länge  $L_{max}$ . Der Short-Wert bei "5" belegt nur die Hälfte des verfügbaren Platzes in dem Stapелеlement.

20

Bei der Verarbeitung der in dem Operandenstapel 100 abgespeicherten Operanden möchte man sicher sein, daß die in dem Operandenstapel abgespeicherten Operanden tatsächlich dem programmgemäßen Operanden-Typ entsprechen. Eine laufende Typüberprüfung ist aber bei der in Fig. 5 skizzierten Organisation des Operandenstapels nicht möglich. Möglich ist eine Überprüfung mit Hilfe eines Verifikationsprozesses, dieser bedingt jedoch eine vollständige Datenflußanalyse, die einen erheblichen Aufwand darstellt.

25

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Operandenstapelspeicher anzugeben, bei dem der Speicherplatzbedarf optimiert ist und ferner eine laufende Typüberprüfung möglich ist. Außerdem soll ein Verfahren zum Betreiben eines Operandenspeichers angegeben werden, welches den Speicherbedarf für den Operandenstapel optimiert und eine laufende Typüberprüfung gestattet.

Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung einen Operandenstapelspeicher vor, dem ein Typenspeicher zugeordnet ist, wobei in dem Typenspeicher für jeden einzelnen abgespeicherten Operanden die dazugehörige Typinformation gespeichert ist, welche Längen-Information über diesen Operanden enthält. Mit Hilfe dieser Information wird bei der Abspeicherung der unterschiedlich langen Operanden kein Speicherplatz mehr verschwendet, sondern in dem Operandenstapel ist die Information dicht an dicht gespeichert. Der erfindungsgemäße Operandenstapelspeicher weist zwei grundlegende Organisationsformen auf: in einer ersten Form ist der Typenspeicher als von dem Operandenspeicher getrennter Stapelspeicher mit Stapелеlementen konstanter Länge ausgebildet. In einer alternativen Version ist der Typenspeicher in den Operandenspeicher integriert, das heißt, jeder Operand, der eine aus einer vorbestimmten Anzahl gegebener Längen aufweisen kann, hängt direkt zusammen mit der dazugehörigen Typ-Information.

Da die zu jedem Operanden verfügbare Typinformation Längen-Information über den Operanden enthält, steht von vornherein fest, wieviel Speicherplatz der jeweilige Operand benötigt. Beim Einschreiben in den Operandenspeicher, das heißt dann, wenn ein neuer Operand auf den Operandenstapel gelegt wird, wird in Verbindung mit diesem Operanden die Typ-Information gespeichert. Beim Lesen des Operanden wird dann zunächst die Typ-Information ausgewertet, und dementsprechend kann der Stapel-Zeiger so

eingestellt werden, daß die entsprechende Anzahl von Speicherzellen für den Operanden ausgelesen wird. Die Typ-Information ist binär kodiert, beispielsweise als vierstelliger Code, der für jeden vorkommenden Operandentyp eindeutig ist. Aus diesem Code läßt sich mit Hilfe einer Tabelle die dazugehörige Längeninformation gewinnen.

Die in Verbindung mit jedem einzelnen Operanden abgespeicherte Typ-Information ermöglicht ein laufendes Überprüfen des Operandentyps während der Verarbeitung der Operanden. Bevor ein Operand aus dem Operandenstapel ausgelesen wird, wird die Typ-Information gelesen, um den Operanden mit der entsprechenden Anzahl von Speicherstellen auszulesen. Die damit verfügbare Typ-Information kann mit Soll-Information eines Prüfprogramms verglichen werden. Fällt der Vergleich negativ aus, das heißt stimmt der anstehende Operanden-Typ nicht mit dem programmgemäß erwarteten Operanden-Typ überein, erfolgt eine Fehlerbehandlung.

Durch die Erfindung wird also einerseits eine Speicherplatzoptimierung erreicht, andererseits wird Information zur Verfügung gestellt, die ein laufendes Überprüfen des Operandentyps gestattet.

Der erfindungsgemäße Operandenstapelspeicher und das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben eines Operandenstapelspeichers sind einsetzbar in Verbindung mit einer Hardware-Rechenmaschine, aber auch in Verbindung mit einer virtuellen Rechenmaschine. Die oben erwähnten Vorteile werden in beiden Fällen erreicht.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Operandenstapelspeichers in  
Verbindung mit einem Typenspeicher;

---

5 Fig. 2 ein schematisches Flußdiagramm zum Veranschaulichen des Betriebs bei einem Speichervorgang eines Operanden;

10 Fig. 3 ein Flußdiagramm zum Veranschaulichen des Betriebs beim Lesen eines Operanden von einem Operandenstapel, wobei eine Typüberprüfung des Operanden stattfindet;

Fig. 4 eine schematisierte Darstellung einer zu der Ausführungsform nach Fig. 1 alternativen Ausführungsform eines Operandenstapelspeichers; und

15 Fig. 5 eine schematische Darstellung eines zum Stand der Technik gehörigen Operandenstapelspeichers.

20 Wie oben in Verbindung mit Fig. 5 ausgeführt wurde, sind im Stand der Technik in dem Operandenstapelspeicher 100 Stapелеlemente 100a, 100b,... jeweils konstanter Länge  $L_{max}$  vorgesehen, so daß bei kürzeren Operanden durch den dann nicht genutzten Speicherplatz eine beträchtliche Menge an Speicherplatz verloren geht. Diese verloren gegangene Menge Speicherplatz ist in Fig. 5 schraffiert angedeutet.

---

25 Fig. 1 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform eines Operandenstapelspeichers gemäß der Erfindung, wobei das Verfahren zum Organisieren dieses Operandenstapelspeichers ebenfalls ersichtlich ist.

Wie durch die Darstellung auf der linken Seite in Fig. 1 angedeutet ist, sind die einzelnen Stapелеlemente 10a, 10b, ... des Operandenstapelspeichers 10 gerade so lang wie der darin zu speichernde Operand. Die Längeninformation für jeden Operanden befindet sich in einem separaten Typenspeicher 20, der ebenfalls als Stapelspeicher organisiert ist. Die Stapелеlemente 20a, 20b des Typenspeichers 20 haben durchgehend konstante Länge. Jedes Stapелеlement 20a, 20b, ... des Typenspeichers 20 speichert einen vier Bits umfassenden Code, der den Typ des zugehörigen Operanden eindeutig kennzeichnet. So kennzeichnet die Typ-Information für den Operanden "1" in dem Stapелеlement 20a einen Referenz-Wert. Die Typ-Information legt eindeutig auch die jeweilige Länge des Operanden fest. Unten in Fig. 1 ist für den Typenspeicher 20 der dazugehörige Stapel-Zeiger 12 angedeutet. Für den Lese- und Schreibbetrieb des Typenspeichers 20 wird der Stapel-Zeiger 12 erhöht bzw. erniedrigt. Der Wert des Stapel-Zeigers 12 entspricht jeweils der Adresse des nächsten freien Speicherplatzes

Ein Stapel-Zeiger 11 für den Operandenspeicher 10 wird nicht mit jeweils einem konstanten Wert erhöht oder erniedrigt, sondern jeweils entsprechend der Länge des Operanden. Hierzu wird ein Wert entsprechend der Länge des Operanden auf den Stapel-Zeiger 11 addiert, wenn ein Operand auf den Operandenstapel 10 gelegt wird, der Inhalt des Stapel-Zeigers 11 wird um die Länge des Operanden verringert, wenn dieser Operand aus dem Operandenspeicher 10 ausgelesen wird. Der Wert des Stapel-Zeigers 11 entspricht jeweils der Adresse des nächsten freien Speicherplatzes. Beim Betrieb der Rechenmaschine verringert und erhöht sich die Höhe des Operandenstapels 10 laufend entsprechend den einzelnen Lese- und Schreibvorgängen.

Der Fachmann sieht, daß der Operandenstapelspeicher 10 Stapелеlemente 10a, 10b, ... veränderlicher Länge aufweist, die in den verfügbaren Speicher-

raum lückenlos aneinander anschließen. Der Typenspeicher 20 ist an einer anderen Stelle des Speichers angelegt.

---

Fig. 2 erläutert in Form eines Flußdiagramms einen Schreibvorgang, mit dem  
5 ein Operand auf den Operandenstapelspeicher 10 gelegt wird. Im Schritt S1  
wird der zu speichernde Operanden-Typ in den Typspeicher 20 gespeichert,  
im Schritt S2 wird der Stapel-Zeiger 12 erhöht. In Schritt S3 wird der Ope-  
rand auf den Operandenstapel 10 abgelegt und in Schritt S4 wird, entspre-  
chend dem auf den Operandenstapel 10 abgelegten Typ, der Stapel-Zeiger 11  
10 des Operandenstapels erhöht, das heißt entsprechend der Länge des Operan-  
den die aus der Typinformation bekannt ist. Wie oben beschrieben, zeigen  
die Stapel-Zeiger 11 und 12 danach auf den jeweils nächsten freien Spei-  
cherplatz.

Fig. 3 zeigt schematisch den Ablauf bei einem Lesevorgang. Im Schritt S11  
15 wird aus dem Typenspeicher 20 das oberste Element des Stapels gelesen.  
Dazu wird der Wert des Stapel-Zeigers 12 um die Länge eines Stapelele-  
ments, im Beispiel vier Bit, verringert, da - wie oben beschrieben - der Stapel-  
Zeiger 12 auf die Anfangsadresse des nächsten freien Stapelelements zeigt.  
20 Der Wert des verringerten Stapel-Zeigers 12 bildet somit die Anfangsadresse  
zum Auslesen des obersten Elements im Typspeicher 20. Im vorliegenden  
Beispiel wird die Information aus dem Typspeicher 20 gelesen, daß es sich  
bei dem Operanden um einen Byte-Wert handelt.

---

25 Im Schritt S12 erfolgt eine Prüfung des Operanden-Typs. Die Prüfung ist  
nicht Gegenstand der Erfindung und soll hier nicht näher erläutert werden.

Im Schritt S13 wird abgefragt, ob der Typ der erwartete Operanden-Typ ist.  
Falls nicht, erfolgt in einem Schritt S14 eine Fehlerbehandlung.



---

Entspricht der Operanden-Typ dem erwarteten Typ, so wird der entsprechende Operand im Schritt S15 gelesen, das heißt es wird von dem Operandenstapelspeicher 10 in Fig. 1 aus dem obersten Stapелеlement der Operand

5 mit der Länge entsprechend dem Byte-Wert abgenommen. Dazu wird der Wert des Stapel-Zeigers 11 um die Länge des Operanden, im vorliegenden Beispiel also um die Länge des Byte-Werts, verringert. Der Wert des Stapel-Zeigers 11 bildet somit die Anfangsadresse des zu lesenden obersten Elements des Operandenstapelspeichers 10. Der Wert des Stapel-Zeigers 11 entspricht somit nach dem Lesen wieder der Adresse der nächsten freien Speicherzelle.

10

In Fig. 4 ist eine zu Fig. 1 alternative Organisation des Operandenstapelspeichers dargestellt. Der Operandenstapelspeicher 30 enthält Typenspeicherelemente 31 jeweils konstanter Länge und Operandenspeicherelemente 32, deren Länge jeweils von dem Typ abhängt. Der Operandenstapelspeicher 30

15 in Fig. 4 läßt sich ebenfalls gemäß dem Ablauf nach Fig. 2 und Fig. 3 betreiben, wobei die jüngsten Operanden in Fig. 4 rechts dargestellt sind, während in Fig. 1 die jüngsten Operanden oben auf dem Stapel liegen.

## Patentansprüche

1. Operandenstapelspeicher für eine Rechenmaschine, die eine Recheneinheit, die einzelne Operanden gemäß einem Programm verarbeitet, und den
- 5 Operandenstapelspeicher, in welchem Operanden verschiedener Längen als Stapel gespeichert sind, enthält, gekennzeichnet durch einen Typenspeicher (20, 31) mit Speicherelementen konstanter Länge, der für jeden in dem Operandenspeicher (10, 32) gespeicherten Operanden dessen Typ-Information speichert, welche Information über die Länge des betreffenden Operanden
- 10 enthält.
2. Operandenstapelspeicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Typenspeicher (20) als von dem Operandenspeicher getrennter Stapelspeicher mit Stapелеlementen konstanter Länge ausgebildet ist.
- 15
3. Operandenstapelspeicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Typenspeicher (31) in den Operandenspeicher operandenweise integriert ist.
- 20
4. Operandenstapelspeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge des jeweiligen Operandentyps abhängig von dem zugehörigen Typ-Code in einer Tabelle gespeichert ist.
5. Operandenstapelspeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Operandenstapelspeicher als virtueller Stapelspeicher
- 25 für eine virtuelle Rechenmaschine ausgebildet ist.
6. Operandenstapelspeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine Operandentyp-Prüfeinrichtung (S12-S14), die bei jedem
- 30 Lesezugriff auf den Operandenspeicher (10, 32) aktiviert wird.

7. Rechenmaschine mit einem Operandenstapelspeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

---

5 8. Chipkarte mit einer integrierten virtuellen Rechenmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

10 9. Verfahren zum Betreiben eines Operandenstapelspeichers in einer Rechenmaschine, bei dem die Stapелеlemente des Operandenstapelspeichers zum Speichern von Operanden unterschiedlicher Länge dienen, dadurch gekennzeichnet, daß für jeden Operanden in dem Operandenstapelspeicher (10, 32) ein Typenspeicherelement (20a, 20b; 31) einheitlicher Länge angelegt wird, daß die in einem Typenspeicherelement gespeicherte Typ-Information Längen-Information über die Länge des zugehörigen Operanden enthält, und daß diese Längen-Information bei jedem Zugriff auf den Operandenspeicher ausgewertet wird.

15

20 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Typenspeicherelemente in Form eines separaten Stapelspeichers (20) angelegt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Typenspeicherelemente (31) mit dem zugehörigen Operandenspeicher-Stapelement (32) zusammenhängend abgespeichert werden.

---

25 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei jedem Lesezugriff auf den Operandenspeicher (10, 32) eine Typüberprüfung durchgeführt wird.

## Zusammenfassung

Ein Operandenstapelspeicher (10) ermöglicht eine Speicherplatzoptimierung und eine laufende Überprüfung des Operandentyps durch Anlegen eines

---

- 5 Typenspeichers (20), der für jeden Operanden Typ-Information speichert, die Angaben über die Länge des Operanden beinhaltet.

- Durch diese für jeden einzelnen Operanden verfügbare Längen-Information können die Operanden dicht an dicht abgespeichert werden, während im
- 10 Stand der Technik für jeden Operanden einheitlich lange Stapелеlemente verwendet wurden, deren Länge von dem längsten Operanden abhing.

(Fig. 1)

---

BEST AVAILABLE COPY

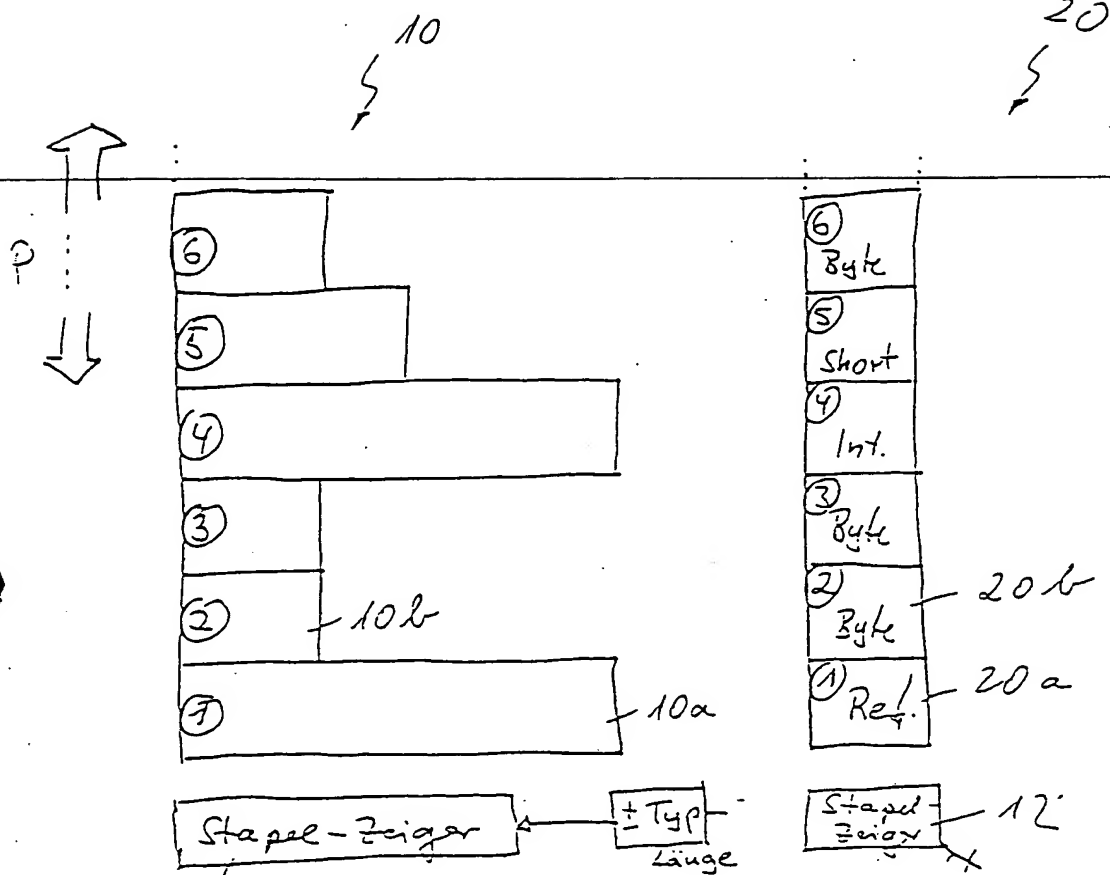


Fig. 1

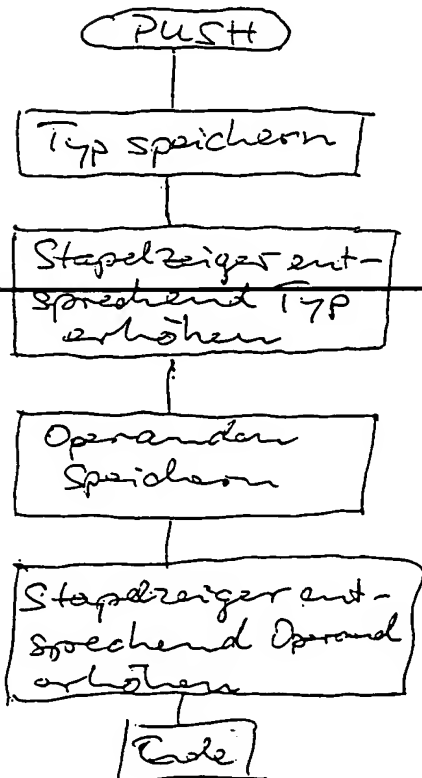


Fig. 2

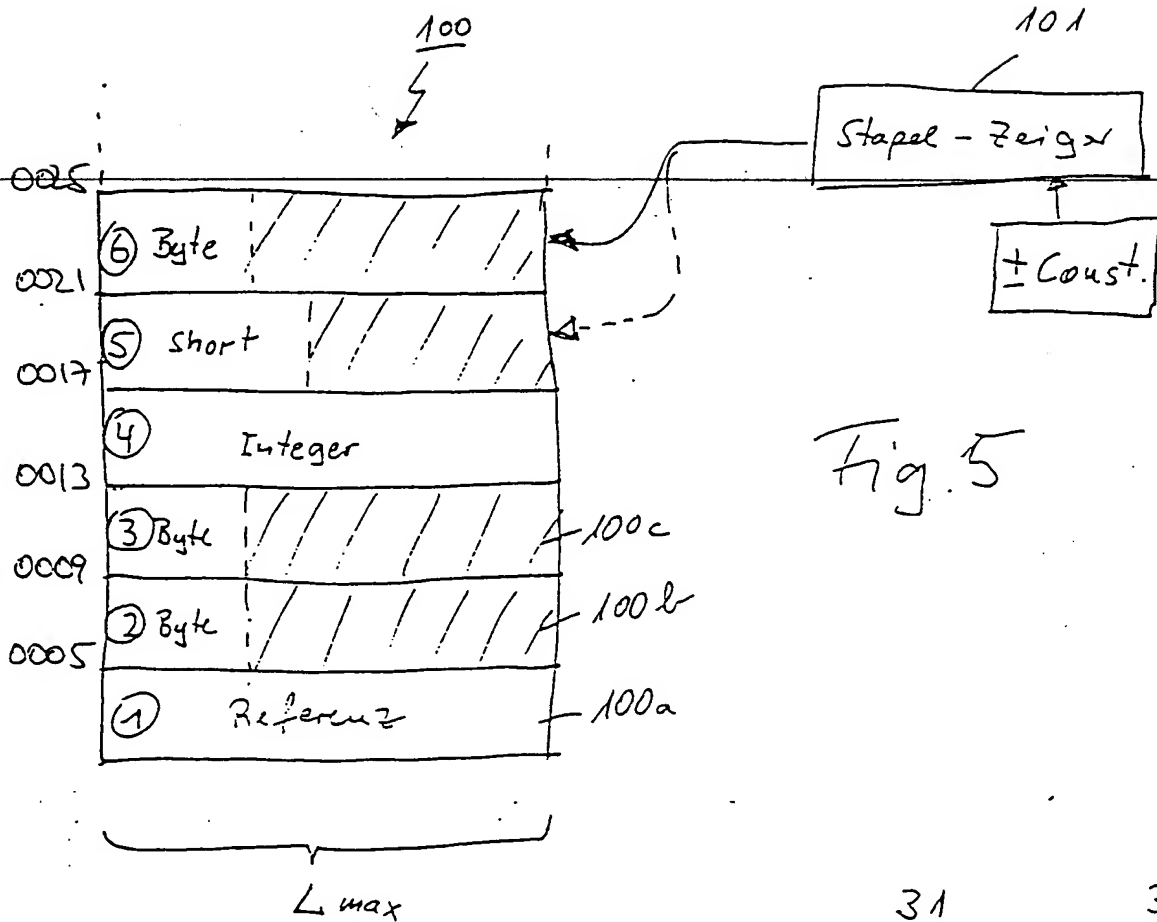


Fig. 5

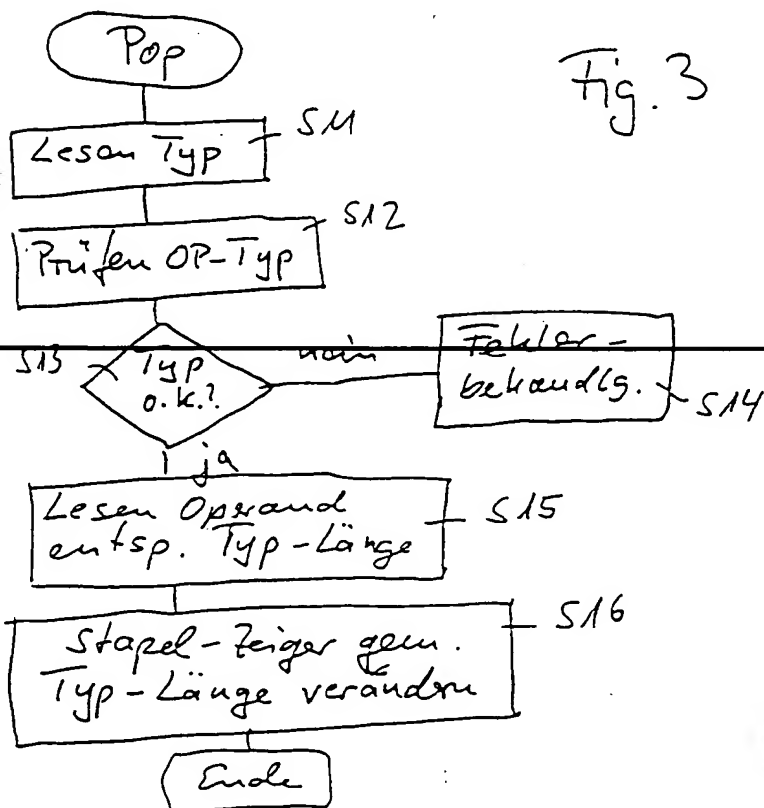


Fig. 3

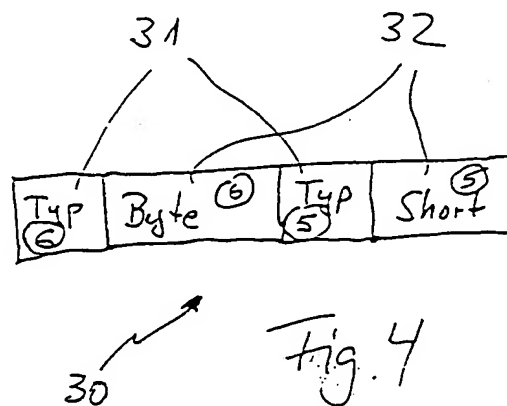


Fig. 4